



Зеленый робот

ПРОГРАММНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Мелиорация. Достоверное орошение

От измерения воды к проверяемому решению на поле · Учебно-методическое издание

Проектная редакция · GR-FP-1.0

D17 · АСУП.466459.100-01 34 06

Редакция 1.3 · 21.09.2026

Содержание

Как работать с книгой

1. Что считать результатом орошения
2. Поле и условия применения
3. Машина и её паспорт
4. Измерить и проверить
5. Назначить режим орошения и проверить машину
6. Оценить распределение на поле
7. Проследить воду в почве
8. Принять решение и проверить выполнение
9. Объяснить достоверность результата
10. Практикум и полевое исследование

Приложение А. Паспорта 27 сущностей

Приложение Б. Формулы и единицы

Приложение В. Полевые формы

Приложение Г. Применимость к ПО «Зеленый робот»

Термины и сокращения

Сведения о редакции

Мелиорация. Достоверное орошение

ДОКУМЕНТ D17 · АСУП.466459.100-01 34 06	РЕДАКЦИЯ 1.3 · Учебно-методическая редакция · 21.09.2026
ПРЕДМЕТ Круговое дождевание: от измерения воды к проверяемому решению на поле	ПРИМЕНЕНИЕ Обучение, обследование и разбор данных. Примеры ПО «Зеленый робот» приведены с отдельной областью применимости.

Эта книга помогает ответить на пять вопросов: какие норма и срок полива требуются культуре, какой расход должна обеспечить система, сколько воды прошло через машину, куда она попала и каким данным можно доверять. Читатель проходит путь от водного баланса и графика поливов до показания расходомера и отчёта, в котором каждое число связано с местом, временем, методом и проверкой.

Материал предназначен студентам и преподавателям мелиорации, агрономии и автоматизации, инженерам и агрономам хозяйств. Для начала достаточно владеть единицами площади, объёма и времени, процентами и электронной таблицей. Формулы сопровождаются входами, примером и границей вывода. Словарь находится в конце книги.

Первый выпуск рассматривает круговую дождевальную машину. Геометрия фронтальных машин, капельное орошение и проектирование дренажной сети требуют собственных расчётных профилей. Значения в заданиях синтетические. Режим орошения реального поля назначают по водному балансу, почвенно-мелиоративным условиям, культуре, источнику воды, возможностям техники и применимой редакции российских нормативных документов. Международные методы в книге служат дополнительными расчётными моделями и не заменяют это основание.

HTML и PDF открыты без регистрации. Веб-практикум содержит восемь работ, их исходные данные, разобранные ответы и формы отчёта. Все материалы читаются в браузере; облачный аккаунт и загрузка архива не требуются. Десять электронных примеров меняют входные величины непосредственно на странице: один находится в главе 1, шесть — в главе 5, один — в главе 6 и два — в главе 7. Печатный вариант сохраняет условия и эталон каждого примера.

Практические действия на панели раскрыты в D05 Pivot и D06 Pivot. До выезда на поле участники изучают инструкции безопасности и работают под руководством ответственного специалиста площадки. Учебные задания этого комплекта выполняются по файлам и не требуют включения оборудования.

Как работать с книгой

- 1 Пройдите главы 1–4 и составьте паспорт наблюдений: величина, единица, место, время и источник.
- 2 Выполните расчёт режима и распределения в главах 5–6. Отдельно сохраните допущения модели.
- 3 Замкните баланс почвы в главе 7, сопоставьте план и наблюдение в главе 8.
- 4 Оцените предел достоверности и подготовьте отчёт по главам 9–10.

Результат: другой участник может повторить расчёт по вашим файлам и получить тот же результат либо указать конкретную причину расхождения.

1. Что считать результатом орошения

1.1. Шесть границ воды

Расходомер описывает своё сечение. Дождемер описывает поступление в точку на поверхности. Датчик влажности характеризует ограниченный объём почвы. Для общего вывода эти наблюдения связывают моделью пространства и времени.

Шесть границ воды

1 Вход машины

Счётчик · расход · время

2 Выпуски

Сопла · давление · состояние

3 Поверхность

След распыла · ветер · площадь

4 Вход в почву

Инфильтрация · запас · сток

5 Корневая зона

Слои · ЕТ · глубокий выход

6 Доступность культуре

Корни · потребность · качество

Рисунок D17.1 — Переход к следующей границе требует дополнительных данных. Номера задают последовательность проверки физического пути.

- 1 **Вход машины.** Объём прошедшей воды определяют по счётчику или интегралу расхода. Сохраняют интервал и сведения о приборе.

- 2 **Выходы аппаратов.** Учитывают работающие выпуски, утечки, слив и изменение запаса воды в трубах. Проектные кривые сопел дают модель расхода при заданном давлении.
- 3 **Поверхность поля.** Положение машины, след распыла, ветер и граница поля определяют распределение. Полевую выборку получают дождемерами по выбранной процедуре.
- 4 **Вход в почву.** Из поступившей воды выделяют инфильтрацию, поверхностный запас, сток и испарение. Вода в луже может продолжать впитываться после остановки полива.
- 5 **Корнеобитаемый слой.** Прослеживают перераспределение между слоями, испарение и транспирацию, капиллярный приток и выход ниже корней.
- 6 **Доступность культуре.** Запас сопоставляют с характеристиками почвы, глубиной корней и текущей потребностью. Результат сопровождают неопределённостью и областью наблюдения.

На одном поле могут одновременно существовать измеренный входной объём, расчётная карта поверхностного слоя и неизвестный запас у корней. Каждая подпись должна сохранять эту разницу.

1.2. Объём и эквивалентный слой

При постоянном расходе объём вычисляют по формуле (1):

$$V [m^3] = Q [л/с] \times \Delta t [с] / 1000.$$

Эквивалентный слой на выбранной площади задаёт формула (2):

$$d [мм] = 1000 \times V [m^3] / A [m^2], A > 0.$$

Расход 50 л/с за 3600 с даёт 180 м³. На условном гектаре это 18 мм по входному объёму. Для такой подписи нужны входной расход и площадь. Вывод о равномерном внесении 18 мм на почву потребует наблюдений следующей границы.

УЧЕБНЫЙ ПРИМЕР · ИЗМЕНЯЙТЕ ЗНАЧЕНИЯ

Измените расход, время и площадь

Расход, л/с

Время, ч

Площадь, га

Входной объём

180 м³

Эквивалентный слой

18 мм

Эквивалентный слой по входному объёму. Распределение на почве и запас у корней этим примером не определяются.

Попробуйте: оставьте расход и время, увеличьте площадь до 2 га. Объём сохранится, эквивалентный слой станет 9 мм. Теперь удвойте время: объём достигнет 360 м³, слой вернётся к 18 мм. Эти изменения отражают геометрию и длительность примера.

1.3. Число вместе с основанием

Рабочая запись содержит значение, единицу, физическую границу, объект, интервал, способ получения и качество. Для расчёта добавляют версии входов и метода. Исправление исходного показания порождает новую запись с причиной; прежняя запись остаётся доступной для воспроизведения отчёта.

Пример подписи: «180 м³ на входе машины, интервал 10:00–11:00 UTC, расчёт по постоянному измеренному расходу 50 л/с; ряд полный». Если расход взят из паспорта, заменяют основание на «оценка по паспортному расходу». Если отсутствуют десять минут наблюдений, явно выделяют известный объём и непокрытый интервал.

Проверьте себя: можно ли по 180 м³ заключить, что корни получили достаточно воды? Сначала нужны площадь фактического покрытия, распределение, почвенные условия, исходный запас и потребность культуры. Ответ «данных недостаточно» с перечислением недостающих величин завершает корректный расчёт на текущей границе.

2. Поле и условия применения

2.1. Начните с обследования

Контур поля и круг машины обычно различаются. Дорога, водоём, строение, лесополоса или иной запретный участок исключаются из поливаемой площади по принятому правилу. Исключение сохраняют как геометрию с основанием и датой действия. После изменения границы повторяют расчёт площади и сохраняют новую версию.

Пять групп данных обследования

1 Граница и рельеф

Поле · исключения · координаты

2 Почва

Слои · пробы · исходная влажность

3 Вода

Источник · расход · качество

4 Культура

Посев · фаза · корневая зона

5 Мелиоративные условия

Грунтовые воды · отвод · дренаж

6 Результат обследования

Известные данные и пробелы

Рисунок D17.2 — Поле обследуют как связанную систему. Пустое поле паспорта обозначает неизвестный параметр.

- 1 Нанесите центр машины, контур поля, препятствия и допустимые направления движения. Укажите систему координат и точность съёмки.
- 2 Выделите участки разного рельефа, почвы и посева. Сохраните даты отбора проб и глубины горизонтов.
- 3 Опишите источник воды, доступный расход, условия отбора и результаты анализа качества. Свяжите ограничения с участком и сезоном.

Результат: карта показывает, для каких участков данные достаточны, а где перед расчётом нужно обследование.

2.2. Площадь ячейки имеет значение

Расчётная сетка делит область на ячейки. Краевая ячейка учитывается только своей частью внутри выбранного контура. Для каждой сохраняют полную геометрию, действующую площадь пересечения и долю покрытия. Два участка одинакового размера на экране могут иметь разную площадь на местности.

Линейные расстояния и площади считают в подходящей метрической системе координат либо проверенным геодезическим методом. Широта и долгота в градусах требуют преобразования перед подстановкой в формулы метров и квадратных метров. Подпись карты включает систему координат, дату границ и размер сетки.

Среднее значение по полю взвешивают площадью. Например, 2 га с 10 мм и 8 га с 20 мм дают средний слой 18 мм. Простое среднее двух записей, 15 мм, описывало бы среднюю запись. На границе поля эта ошибка особенно заметна.

2.3. Качество воды и мелиоративные ограничения

В обследование включают электропроводность, состав основных ионов и характеристики, необходимые для оценки солевого и натриевого воздействия. Их рассматривают совместно с почвой, культурой и режимом отвода воды. Для российского объекта в расчёте называют применимую редакцию нормативных документов, метод анализа и агрономическое решение площадки. FAO-29 «Качество воды для сельского хозяйства» допускается как дополнительный международный справочник для сопоставления показателей; его пороги не переносят на поле без проверки местных почвенно-климатических условий.

Отдельно отмечают заболачивание, близкие грунтовые воды, застой после полива и направление поверхностного стока. Увеличение нормы меняет приход воды и может усилить переувлажнение. Для участка с солевыми ограничениями план должен учитывать водно-солевой баланс и возможность отвода воды. Наличие дренажа устанавливают обследованием: его схема, состояние, место выпуска и наблюдаемый режим входят в паспорт площадки.

Книга даёт порядок сбора сведений. Расчёт сооружений, разрешённый водозабор, нормативные ограничения и назначение промывок оформляются профильными специалистами по условиям объекта.

2.4. Учебная карточка участка

В практикуме используется поле «Учебное-01». Его площадь и почвенные параметры заданы в каждом наборе, поэтому примеры разных глав не следует объединять в один фактический объект. В отчёте всегда указывают идентификатор набора.

Минимальная карточка содержит: ID поля и версию контура; культуру и фазу; источник воды; почвенные слои с глубинами; исходную влажность и время её определения; грунтовые воды и дренаж; исключённые участки; неизвестные сведения. Шаблон `forms/field-survey.csv` открыт в веб-практикуме.

3. Машина и её паспорт

3.1. От комплектации к расчёту

Круговая машина состоит из центрального узла, пролётов, башен, трубных секций и выпусков с аппаратами. Концевой аппарат и бустер учитывают отдельными узлами. Положение выпуска вдоль радиуса, высота, сопло, регулятор и режим включения влияют на распределение воды.

Паспорт, задание, наблюдение и результат

1 Паспорт

Комплектация и постоянные поля

2 Сценарий

Сектор · норма · время · таймер

3 Наблюдения

Фактические расход, угол, давление

4 Результат

Входы · метод · числа · качество



При изменении комплектации проход делят на сегменты.
Каждый результат сохраняет свою версию входов.

Рисунок D17.3 — Версия комплектации определяет расчётную основу; сценарий задаёт конкретный режим; наблюдения описывают фактический процесс.

Паспорт закрепляет параметры установки. **Сценарий** задаёт сектор, норму, время и выбранный режим. **Наблюдения** содержат фактические расход, угол, давление и состояние. **Результат** связывает использованные входы, метод и выходные значения.

При замене сопла или отключении узла меняется комплектация. Длинный проход, затронутый изменением, разбивают на сегменты: каждый использует действовавшую тогда версию. Для оценки старого прохода нельзя молча подставлять сегодняшний паспорт.

3.2. Минимальные параметры расчётного профиля

Профиль r1 ПО «Зеленый робот» использует семь постоянных полей. Человеческие единицы преобразуются в целочисленные единицы обмена перед вычислением.

Величина	Поле профиля	Единица обмена
Радиус машины	pivot_radius_mm	мм
Радиус последней башни	last_tower_radius_mm	мм
Дальность концевго аппарата	end_gun_throw_mm	мм
Основной расход	base_flow_ml_per_s	мл/с
Расход концевго аппарата	end_gun_flow_ml_per_s	мл/с
Скорость башни при 100 %	tower_speed_mm_per_min_at_100_pct	мм/мин
Коэффициент полезного внесения	application_efficiency_ppm	миллионные доли

Сценарий содержит `sector_mdeg`, `target_depth_um`, `available_irrigation_s`, `selected_timer_ppm` и `end_gun_enabled`. Один градус равен 1000 mdeg; 1 мм — 1000 мкм; 100 % — 1000000 ppm. Наблюдаемый расход не заменяет поле основного паспортного расхода без отдельного изменения исходных данных.

Полный справочник обследования шире этих двенадцати полей. Для гидравлики нужны диаметры, длины, высоты и характеристики аппаратов. Для почвенного баланса — слои, влажность, культура и погода. Требуемый состав данных определяет вычисляемый результат.

3.3. Выпуски и обслуживаемая площадь

Для кругового движения внешние выпуски обслуживают большую площадь. Грубая оценка расхода пропорционально радиусу подходит лишь для оговорённой схемы с близкими интервалами и одинаковой ролью узлов. Неравные интервалы и края требуют явного задания обслуживаемой области.

Если выпуску условно назначено кольцо между радиусами a и b , его площадь полного круга равна $\pi(b^2 - a^2)$. Целевую долю расхода можно распределить пропорционально этой площади. Затем проверяют реальные характеристики аппарата, давление, перекрытие струй и полевое распределение. Геометрическое кольцо — расчётное назначение площади, а фактический след распыла обычно перекрывает соседние области.

3.4. Проверить паспорт по машине

- 1 Сопоставьте идентификатор машины и версию комплектации с обследованием. Проверьте единицы радиусов, расходов и скорости.
- 2 Уточните состояние концевой аппаратуры, бустера, отключённых выпусков и регуляторов. Сохраните неизвестные параметры отдельно.
- 3 Выполните контрольный расчёт главы 5 и запишите версию входов. Расхождение разбирайте по отдельному параметру.

Результат: для выбранного примера известны происхождение каждого входа и область применимости расчёта. Практический ввод выполняется по D05 Pivot.

4. Измерить и проверить

4.1. Подготовка измерений

Для расхода фиксируют тип прибора, диапазон, установку, калибровку, единицу и частоту регистрации. Для давления — точку, высоту, диапазон и единицу. Для положения — начало отсчёта, направление роста угла и источник времени. Общие часы нужны для сопоставления включения воды и движения.

Ряд представляют интервалами с явно выбранным правилом интегрирования. Для кусочно-постоянного расхода формула (3) имеет вид:

$$V = \sum(Q_i \times \Delta t_i) / 1000, \text{ где } Q_i \text{ в л/с, } \Delta t_i \text{ в секундах, } V \text{ в м}^3.$$

При использовании линейной интерполяции между отсчётами это правило указывают отдельно. Интерполяцию через длительный пропуск разрешают только по принятой модели; доля восстановленного объёма сопровождает результат.

4.2. Показание панели и источник числа

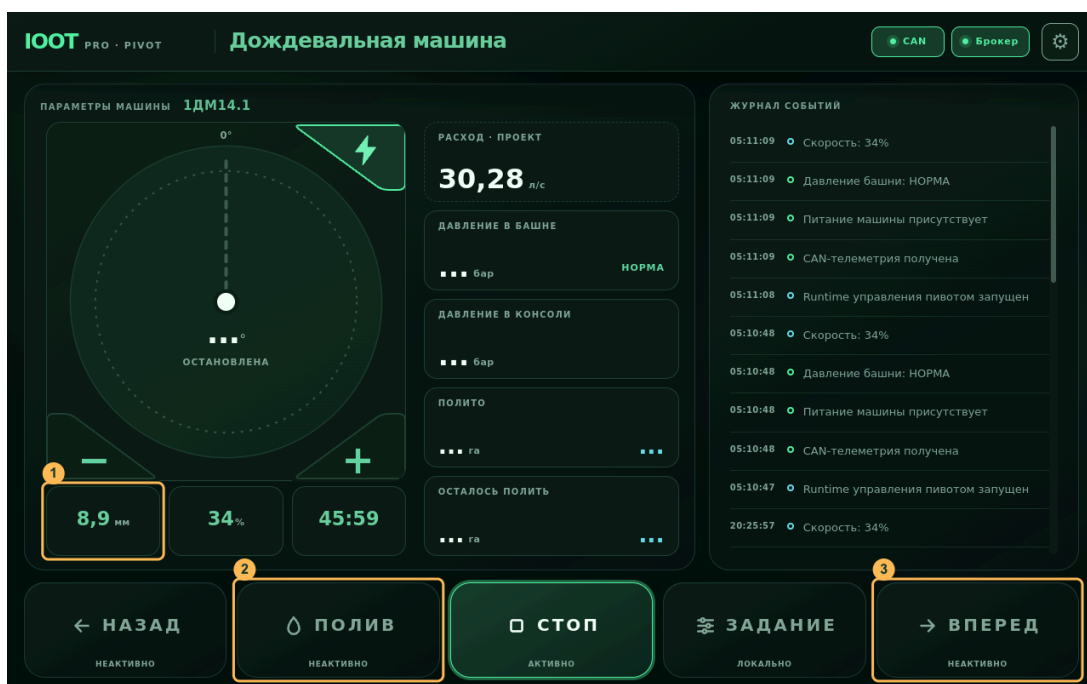


Рисунок D17.4 — Ручной полив, Pivot 0.8.2. Снимок из D05 Pivot показывает элементы интерфейса и пример значений; физическая подача воды этим снимком не подтверждается.

Подпись РАСХОД · ПРОЕКТ указывает расчётное происхождение. Многоточие обозначает неподтверждённое значение. Дискретное НОРМА характеризует состояние входа в данной схеме; численное давление в барах получают по соответствующему измерительному каналу.

- 1 Прочитайте подпись источника, время и единицу рядом с показателем.
- 2 Найдите соответствующий канал и его качество в диагностике по D05 Pivot.
- 3 Выберите допустимый вывод: измеренный факт, паспортная оценка или отсутствующее наблюдение.

Результат: отчёт сохраняет происхождение числа независимо от его визуальной заметности на экране.

4.3. Переход через начало окружности

При принятом росте угла по часовой стрелке переход $355^\circ \rightarrow 5^\circ$ может обозначать движение на $+10^\circ$. Простая разность даёт -350° . Для короткого однонаправленного интервала используют разность по модулю 360 с известным направлением. Для полного прохода сохраняют развёрнутый угол и подтверждённое число оборотов.

Направления недостаточно, если машина могла пройти полный оборот между отсчётами. Частота наблюдений и предел скорости должны исключать такую неоднозначность. Остановку с включённой водой выделяют в самостоятельный

сегмент: входной объём продолжает расти при неизменном положении.

4.4. Счётчик и пропуски

Разность накопительного счётчика применима внутри одной непрерывной эпохи. Сброс или переполнение требует отметки и правила восстановления. При отсутствии граничного значения нельзя соединять две эпохи вычитанием.

В лабораторной работе 3 известный объём составляет 21 м^3 , один интервал 60 с остаётся непокрытым. Снижение счётчика с 121 до 2 м^3 помечено новой эпохой. За последнюю минуту показания новой эпохи выросли с 2 до 5 м^3 : этот отдельный прирост равен 3 м^3 . Общий объём всего сеанса по такому счётчику ещё не установлен.

4.5. Проверить измерительную границу

Разность полных напоров двух сечений связывают с потерями при известном составе участка. Если между датчиками расположен бустер, учитывают добавленный напор. Величины давления, высоты и скорости приводят к совместимым единицам. Измерение двух точек помогает проверить участок, но распределение давления по всем выпускам требует дополнительной модели или наблюдений.

Перед полевым испытанием ответственный специалист задаёт измерительную схему, допустимые условия, способ остановки и порядок работы возле машины. Учебная таблица служит формой записи, а безопасную процедуру определяют эксплуатационные документы оборудования.

5. Назначить режим орошения и проверить машину

5.1. Различить норму одного полива и сезонную норму

Режим орошения — совокупность норм и сроков поливов. В расчёте не подменяют друг другом две величины:

- **поливная норма** — объём воды за один полив на единицу площади, $\text{м}^3/\text{га}$, либо соответствующий слой, мм;
- **оросительная норма** — суммарный объём воды на единицу площади нетто за вегетационный сезон, $\text{м}^3/\text{га}$.

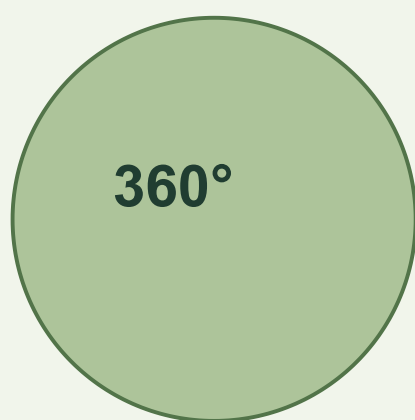
Один миллиметр на гектаре равен $10 \text{ м}^3/\text{га}$. Термины «целевой слой» и «глубина за проход» ниже обозначают расчётный результат конкретного полива или прохода. Сезонную оросительную норму рассчитывают для отдельного периода и принятых условий. Норму одного полива определяют по дефициту влаги, расчётному слою почвы, допустимому диапазону влажности, интенсивности дождя, впитывающей способности, уклону, стоку и эрозионно допустимому значению.

5.2. Площадь и длительность

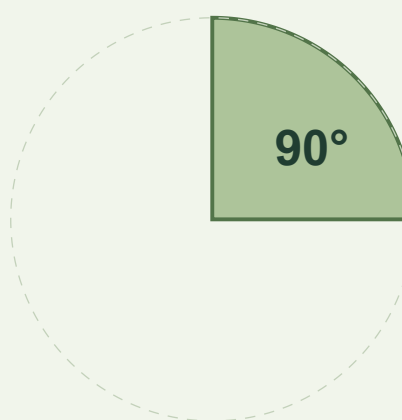
Для идеализированного сектора с эффективным радиусом R и углом α формула (4) даёт $A = \pi R^2 \alpha / 360$. Радиус измеряется в метрах, угол — в градусах, площадь — в м^2 . Участки вне поля и ограничения покрытия рассматривают отдельно. Прибавление дальности концевой аппаратуры к радиусу — геометрическая модель профиля, требующая собственного подтверждения распределения на краю.

Время полного оборота при постоянной скорости последней башни v равно $2\pi R^6/v$. Если v задана в м/мин, результат получается в минутах. Деление на 60 переводит его в часы. При идеализированном таймере доля t увеличивает время в $1/t$ раз; действительная связь скорости и таймера устанавливается профилем машины.

Один режим: полный круг и сектор 90°



516 277 м^2 · 84 134 с



129 069 м^2 · 21 034 с

Выбранный таймер 800 000 ppm · глубина 8,136 мм

Требуемый таймер для целевой нормы: 341 658 ppm

Рисунок D17.5 — При сохранении скорости, расхода и состава машины уменьшение угла пропорционально уменьшает площадь и время прохода.

5.3. Требуемый расход в метрической системе

Для чистого целевого слоя d и расчётного коэффициента η формула (5):

$$Q \text{ [л/с]} = 10000 \times A \text{ [га]} \times d \text{ [мм]} / (3600 \times t \text{ [ч]} \times \eta).$$

Здесь A и t положительны, d неотрицателен, $0 < \eta \leq 1$. Коэффициент связывает входной объём с принятой полезной частью в данной модели. Его определение и основание выбора сохраняют вместе с расчётом.

Пример: 10 га, 10 мм, 10 ч, $\eta = 0,8$. Чистый объём — 1000 м^3 ; входной план — 1250 м^3 ; $Q = 34,7222... \text{ л/с}$. Это учебная проверка размерности. Коэффициент 27154, встречавшийся в исследовательской формуле с акрами, дюймами и галлонами, к этим метрическим входам не применяется.

5.4. Повторить точный пример r1

В наборе работы 2 сохранены два полных вектора профиля r1 и ожидаемые результаты. Основные входы: радиус машины 396240 мм, башни 381000 мм, дальность концевой аппарата 9144 мм; основной расход 50471 мл/с, концевой 5000 мл/с; скорость башни 2134 мм/мин; $\eta = 900000$ ppm. Норма — 19050 мкм, доступное время — 324000 с, выбранный таймер — 800000 ppm, концевой аппарат включён.

Результат	Полный круг	Сектор 90°
Эффективный радиус, мм	405384	405384
Площадь, м²	516277	129069
Время прохода при выбранном таймере, с	84134	21034
Требуемый таймер, ppm	341658	341658
Чистая расчётная глубина за проход, мкм	8136	8136

Выбранный таймер и требуемый таймер отвечают на разные вопросы. Первый даёт показанные время и глубину прохода. Второй соответствует получению целевой нормы при условиях модели. Доступное время проверяет возможность выполнения; само по себе оно не меняет уже выбранную скорость.

Профиль использует целочисленные входы, $\pi = 3141593/1000000$ и одно округление каждого публичного выхода к ближайшему целому с половиной от нуля. Учебная программа применяет точные рациональные вычисления для этих векторов. Площадь и время следующего шага вычисляют из исходных величин, сохраняя дробную часть до выдачи результата.

5.5. Сверить режим по четырём расчётам дождевателей

Четыре расчётных листа SENNPAQ II от 21.07.2026 служат внешними контрольными векторами. Нормативную основу и полевой протокол задают применимые документы и утверждённая программа испытаний. Для круговой машины при постоянной скорости последней башни время прохода сектора проверяется независимо:

$$t_{100} = 2\pi R_6(\alpha/360)/(60v),$$

где R_6 — расстояние до последней башни, м; α — угол прохода, °; v — скорость башни, м/мин; t_{100} — часы при таймере 100 %. Средний слой по расчётной площади A равен $d_{100} = 0,36Qt_{100}/A$, где Q — л/с, A — га. Для целевого слоя d_c таймер $\tau = 100d_{100}/d_c$, а время $t_c = t_{100}/(\tau/100)$. Удельная подача равна Q/A , л/(с·га).

Контрольный лист	Q, л/с	A, га	R6, м	α , °	t_{100} , ч	d_{100} , мм	d_c за 24 ч, мм	τ , %
Kuban A390-59-03 c300	58,99	41,49	381,45	300	12,80	6,56	12,30	53,35

Контрольный лист	Q, л/с	A, га	R6, м	α , °	t_{100} , ч	d_{100} , мм	dц за 24 ч, мм	τ , %
Kuban A390-71-03	71,00	49,73	390,96	360	15,75	8,10	12,35	65,61
Kuban B418-82-04	82,02	56,83	418,45	360	16,85	8,77	12,48	70,22
Kuban B421-82-04	82,05	57,51	420,95	360	16,95	8,71	12,33	70,64

УЧЕБНЫЙ ПРИМЕР · ИЗМЕНЯЙТЕ ЗНАЧЕНИЯ

Сверьте режим круговой дождевальной машины

Контрольный пример

Kuban A390-59-03 · сектор 300°

Подача, л/с

58,99

Площадь, га

41,49

До последней башни, м

381,45

Скорость башни, м/мин

2,6

Угол прохода, °

300

Целевой слой, мм

12,3

Время при 100 %

12,803 ч

Слой при 100 %

6,553 мм

Удельная подача

1,422 л/(с·га)

Таймер для цели

53,278 %

Время на цель

24,031 ч

Сверка с листом

PASS · 5/5

Контроль использует округлённые входы четырёх листов SENNPAQ II и допуски: 0,02 ч; 0,02 мм; 0,02 л/(с·га); 0,1 % таймера; 0,05 ч. Площадь берётся из листа: номинального вылета концевой аппарата недостаточно для её независимого восстановления. Метод не подбирает сопла и не подтверждает полевую равномерность.

Выберите любой лист: исходный вектор проходит пять сравнений с указанными допусками. Изменение входа переводит статус в FAIL. Совпадение восстанавливается при возвращении вычисленных результатов в допустимую

окрестность печатных значений. Небольшая невязка ожидаема, потому что исходные значения в листах уже округлены.

Расчётная площадь взята из каждого листа. Её нельзя надёжно восстановить простым прибавлением номинального вылета концевого аппарата к длине машины: требуется модель фактической площади его действия. Листы также предполагают 100 % эффективности подачи, отсутствие ветра и испарения. Заявленный коэффициент равномерности расхода сопел 98,4–98,6 % и расстановка сопел относятся к модели производителя; этот упрощённый интерактив их не пересчитывает. Полевую равномерность проверяют отдельно по разделу 6.4 и ГОСТ Р 58331.2-2019.

Для воспроизводимой проверки соплового пакета недостаточно сохранить только номер сопла. Паспорт каждого выпуска связывает его радиус и высоту с моделью дождевателя, пластиной или рассекателем, соплом, моделью и артикулом регулятора давления, его уставкой, диапазоном расхода, максимальным входным давлением и минимальным запасом давления на входе по каталогу изготовителя. Расчёт последовательно проверяет давление перед регулятором, достижимое давление после него, расход сопла и сумму расходов карты. Регулятор не повышает давление: если вход ниже уставки с требуемым запасом, сначала проверяют насос, потери, фильтр, утечки и измерительный канал. Модель с меньшей уставкой можно предложить только после повторной проверки допустимого режима дождевателя, расхода сопла, пятна полива и всей карты. Такое предложение оформляют инженерной задачей для проверки. Паспорт меняют после подтверждения режима и всей карты.

Заводские таблицы Senninger, Nelson и Komet дают расходы только для указанных сочетаний давления, сопла, дождевателя и условий испытания. Они позволяют независимо проверить совместимость и расход, но не подтверждают сами по себе установленную комплектацию, фактическое давление или полевую равномерность. Поэтому интерактив этой редакции воспроизводит агрегатные показатели четырёх листов; полная проверка карты сопел требует нормализованного каталога, поузлового гидравлического расчёта и натурального подтверждения.

УЧЕБНЫЙ ПРИМЕР · ИЗМЕНЯЙТЕ ЗНАЧЕНИЯ

Проверьте сопло, редуктор и карту как одну цепочку

Контрольный пример

PASS · PSR210 + I-WOB2 UP3 №16, четыре выхода

Давление перед редуктором, бар

1,1

Уставка редуктора, бар

0,69

Минимальный запас входа, бар

0,34

Максимум входа, бар

6,2

Минимальный расход редуктора, л/ч

114

Максимальный расход редуктора, л/ч

3407

Давление строки сопла, бар

0,69

Расход одного сопла, л/ч

1313

Одинаковых выходов в группе

4

Сумма группы в паспорте, л/ч

5252

Наблюдаемый расход группы, л/ч

5252

Требуемый минимум входа

1,03 бар

Каталожная сумма группы

5 252 л/ч

Отклонение паспорта

0 %

Отклонение наблюдения

0 %

Входное давление

PASS

Давление строки сопла

PASS

Диапазон редуктора

PASS

Паспортная карта

PASS

Наблюдаемый расход

PASS

Предлагаемое действие

PASS · совместимо

Исходная табличная точка: Senninger I-WOB2 UP3 №16 при 10 psi — 1313 л/ч; PSR210 — 0,69 бар, 114–3407 л/ч, вход не ниже уставки на 0,34 бар. Четыре одинаковых выхода образуют учебную группу, а не реальную карту всей машины. Допуск паспортной суммы — 0,5 %, наблюдаемой — 5 %. TASK показывает предложение для проверки и не меняет паспорт.

Исходный пример использует одну заводскую строку Senninger: I-WOB2 с соплом UP3 № 16 при 0,69 бар даёт 1313 л/ч, а регулятор PSR210 работает с уставкой 0,69 бар в диапазоне 114–3407 л/ч и требует не менее 0,34 бар запаса на входе. Четыре одинаковых выхода образуют только учебную группу. Переключите сценарии недостаточного напора, неверной уставки и расхождения карты: интерактив покажет, какую проверочную задачу следует предложить и почему. Для полной машины тот же метод выполняют построчно по каждому выпуску, после чего суммируют карту.

УЧЕБНЫЙ ПРИМЕР · ИЗМЕНЯЙТЕ ЗНАЧЕНИЯ

Покажите, где нехватка давления превращается в дефицит воды

Радиус машины, м

Угол полива, °

Целевой слой, мм

Табличное давление сопла, бар

P1 · кольцо 0–¼R, бар

P2 · кольцо ¼–½R, бар

P3 · кольцо ½–¾R, бар

P4 · кольцо ¾R–R, бар

Объём целевого слоя

5 026,548 м³

Оценённый поданный объём

4 453,147 м³

Суммарный дефицит

573,402 м³

Дефицит внешнего кольца

359,203 м³

Доля внешнего кольца в дефиците

62,644 %

Наибольший абсолютный дефицит

Кольцо 300–400 м

Четыре кольца имеют одинаковую радиальную ширину, но разную площадь. Входы P1–P4 — фактическое или рассчитанное давление на сопле после регулятора. Учебная оценка использует $Q/Q_{кат} = \sqrt{P/P_{кат}}$; она не восстанавливает давление после вышедшего из режима регулятора и не заменяет заводскую кривую. Абсолютный дефицит определяется произведением площади кольца на недобор слоя.

Кольца одинаковой радиальной ширины имеют площади в отношении 1:3:5:7. Поэтому одинаковый относительный недобор слоя создаёт во внешнем кольце в семь раз больший дефицит объёма, чем во внутреннем. В исходном примере давление снижается к краю, и оба эффекта складываются: самое большое внешнее кольцо получает наибольший абсолютный дефицит. Это не универсальное правило по номеру кольца: интерактив выбирает максимум по произведению площади и

недобора слоя. Измените все четыре давления на 0,8 бар, затем уменьшите только P2 — максимум перейдёт туда лишь тогда, когда больший относительный недобор перекроет преимущество площади внешнего кольца.

Для оценки расхода по известному давлению на сопле использована зависимость $Q/Q_{кат} = \sqrt{(P/P_{кат})}$. Если регулятору не хватает входного запаса, его выходное давление из одной уставки не выводят: требуется паузловая гидравлическая модель или измерение после регулятора. Пространственный дефицит относят к обслуживаемой зоне конкретного выпуска, а затем суммируют по движению машины; средняя глубина по всему кругу скрыла бы, какой участок недополучил воду.

5.6. Построить график гидромодуля и поливов

Гидромодуль — расход воды, отнесённый к одному гектару орошаемой площади, л/(с·га). Для культуры i на период полива длительностью t_i суток используют проверку размерности:

$$q_i = a_i N_i / (86,4 t_i),$$

где a_i — доля культуры в орошаемой площади; N_i — поливная норма, м³/га; t_i — длительность полива, сут. Если норма задана слоем d_i в мм, то $N_i = 10d_i$ и $q_i = a_i d_i / (8,64 t_i)$. Ордината укомплектованного графика равна сумме q_i культур, поливаемых одновременно.

График комплектуют по срокам и нормам поливов, почвенно-мелиоративным условиям и параметрам техники. Кратковременный пик нельзя просто срезать: допустимый сдвиг срока и уменьшение нормы обосновывают агрономически и фиксируют новой редакцией графика. Для поверхностного полива расчётный расход нетто получают из ординаты укомплектованного графика и площади. Для дождевания расход нетто проверяют по сумме расходов одновременно работающих машин; оба представления должны описывать один согласованный график водоподачи. Минимальное число одинаковых машин оценивают условием $n \geq q_{max} A / (k_{вр} Q_{дм})$ с округлением вверх, где q_{max} — максимальная ордината, A — площадь нетто, $k_{вр}$ — доля времени непосредственного полива, $Q_{дм}$ — расход одной машины. Совместимость подключений, давления и сети проверяют отдельно.

УЧЕБНЫЙ ПРИМЕР · ИЗМЕНЯЙТЕ ЗНАЧЕНИЯ

Гидро модуль и число одновременно работающих машин

Доля культуры, %

40

Поливная норма, м³/га

600

Длительность полива, сут

10

Площадь нетто, га

100

Расход одной машины, л/с

25

Доля времени полива

0,8

Гидро модуль

0,278 л/(с·га)

Расход участка

27,778 л/с

Минимум машин

2 шт.

Для одной культуры: доля площади × поливная норма / длительность. В графике водоподачи складывают культуры, которые поливают одновременно; сеть и давление проверяют отдельно.

Попробуйте: удвойте площадь участка. Удельный гидро модуль сохранится. Общий расход удвоится; число машин возрастёт ступенчато после округления вверх. Для нескольких культур сначала рассчитайте их ординаты, затем сложите только одновременные поливы.

5.7. Проверить производительность и сезонную нагрузку

Сезонная нагрузка — площадь, которую одна машина способна обслужить с соблюдением режима орошения, включая критический период водопотребления. Её нельзя назначить только по геометрии круга. Проверку пикового периода выполняют по поливной норме и минимальному межполивному периоду:

$$S_{\text{пик}} = 86,4 Q_{\text{дм}} k_{\text{вр}} k_{\text{исп}} \Delta t / N_{\text{пол}},$$

где $S_{\text{пик}}$ — га; $Q_{\text{дм}}$ — расход машины, л/с; $k_{\text{вр}}$ — коэффициент использования рабочего времени суток; $k_{\text{исп}}$ — коэффициент потерь рабочего времени по метеорологическим условиям; $k_{\text{исп}}$ — полезная доля воды после учтённых потерь; Δt — минимальный межполивной период критической культуры, сут; $N_{\text{пол}}$ — её поливная норма, м³/га. Если $N_{\text{пол}}$ задана в мм, перед подстановкой её умножают на 10. Число 86,4 переводит 1 л/с непрерывной работы в м³/сут.

УЧЕБНЫЙ ПРИМЕР · ИЗМЕНЯЙТЕ ЗНАЧЕНИЯ

Площадь одной машины в критический период

Расход машины, л/с

50

Использование времени суток

0,9

Метеодоступность

0,85

Полезная доля воды

0,8

Межполивной период, сут

7

Поливная норма, м³/га

600

Предельная площадь

30,845 га

Пиковая проверка использует поливную норму и минимальный межполивной период.
Коэффициенты должны относиться к одному периоду и не дублировать одни и те же потери.

Максимальную площадь за весь сезон отдельно проверяют по средневзвешенной оросительной норме нетто:

$$S_{\text{сез}} = 86,4 Q_{\text{дм}} T c_{\text{сез}} / (J_{\text{нетто}} K_{\text{пот}}),$$

где T — поливной период, сут; c — доля часов работы машины на поливе в сутках; $c_{\text{сез}}$ — коэффициент использования времени за сезон; $J_{\text{нетто}}$ — средневзвешенная оросительная норма нетто, м³/га; $K_{\text{пот}} \geq 1$ — коэффициент, которым принятая методика увеличивает требуемую подачу из-за потерь. Если потери заданы полезной долей $k_{\text{исп}} \leq 1$, её умножают на числитель вместо $K_{\text{пот}}$ в знаменателе. Эти две формы не применяют одновременно.

УЧЕБНЫЙ ПРИМЕР · ИЗМЕНЯЙТЕ ЗНАЧЕНИЯ

Сезонная нагрузка одной машины

Расход машины, л/с

Полив в сутки, ч

Поливной период, сут

Использование времени за сезон

Оросительная норма нетто, м³/га

Коэффициент потерь К

Предельная площадь

82,107 га

Сезонная проверка использует оросительную норму нетто. Коэффициент потерь $K \geq 1$ применён только в знаменателе и не дублируется полезной долей воды.

Сопоставьте результаты: обслуживаемая площадь ограничена меньшим из пикового и сезонного значений. Интерактивные числа иллюстрируют размерность формул; коэффициенты для проекта назначают по применимой методике и данным хозяйства.

Коэффициенты и продолжительность берут из действующей проектной методики и фактических условий. Учебный пример показывает порядок расчёта; значения для объекта определяет проект. Итоговая обслуживаемая площадь не должна превышать ни $S_{пик}$, ни $S_{сез}$. Её сопоставляют с часовой, сменной и суточной производительностью, временем оборота, доступным расходом, графиком одновременной работы машин и ограничениями сети. Эти зависимости проверяют возможность выполнить режим; они не заменяют проектный расчёт оросительной системы.

5.8. Проверка достижимости

- 1 Проверьте диапазоны и геометрию паспорта, состояние концевой аппаратуры и единицы сценария.
- 2 Сопоставьте требуемый расход с доступным, длительность с разрешённым временем и таймер с поддерживаемым диапазоном.
- 3 Сохраните входы и результат. При невозможном режиме измените согласованные условия и выполните новый расчёт.

Результат: выбранный сценарий имеет воспроизводимые числа и явные ограничения. Его выполнение оценивают по командам, состоянию и наблюдениям главы 8. Формулы режима не заменяют проверку защит и физической исправности.

6. Оценить распределение на поле

6.1. От выпуска к карте

Расход выпуска, его положение и длительность действия задают объём сегмента. Модель пространственного следа распределяет этот объём по ячейкам. В каждой записи сохраняют вклад конкретного выпуска, интервал, версию комплектации и способ распределения.

На краю учитывают воду за пределами выбранной области. Если вся вода выпущена за границей поля, её объём остаётся в общем балансе с соответствующим назначением. Принудительное распределение этого объёма только внутри поля завышает слой. Перекрывающиеся следы складывают по объёму; площадь покрытия считают по объединению следов, исключая повторный счёт одной точки.

Нижняя четверть — 250 м² из 1000 м²

100 м² 5 мм	200 м² 10 мм	300 м² 15 мм	400 м² 20 мм
----------------	-----------------	-----------------	-----------------

100 м² первой зоны + 150 м² второй = 250 м²

Средний слой нижней четверти: 8 мм

Средний слой всей области: 15 мм

$DU_{iq} = 8 / 15 \times 100 \% = 53,33... \%$

Рисунок D17.6 — Нижняя четверть относится к 25 % площади. Граничная зона может войти в неё частично.

6.2. Среднее, равномерность и достаточность

Для ячеек с площадями $A_i > 0$ и слоем $d_i \geq 0$ средний слой по формуле (6) равен $\Sigma(A_i d_i) / \Sigma A_i$. В учебной карте взвешенный показатель отклонения (7) определим как $CU_a = 100 \times [1 - \Sigma(A_i |d_i - \bar{d}|) / (\bar{d} \Sigma A_i)]$. Он описывает выбранную дискретную карту. При нулевом среднем он не определён; отрицательный результат крайне неравномерной выборки сохраняют с объяснением, без скрытого ограничения к нулю.

Для DU_{iq} сортируют зоны по слою и набирают ровно четверть всей площади. Последнюю зону при необходимости делят. Средний слой этой части делят на средний по всей площади и умножают на 100 %. При одинаковом слое порядок равных зон не влияет на числитель.

Отдельно определяют **достаточность**: долю площади, на которой слой достиг заданной цели. Высокая равномерность возможна при одинаково недостаточном слое; большой средний слой может сочетаться с сухими участками и избытком в других местах.

6.3. Разобрать учебную выборку

Четыре зоны имеют площади 100, 200, 300 и 400 м² и слои 5, 10, 15 и 20 мм. Получаем 15 м³, средний слой 15 мм, $CU_a = 73,333\ldots\%$. Нижняя четверть — первые 100 м² и 150 м² второй зоны: средний слой 8 мм, $DU_{iq} = 53,333\ldots\%$. При цели 15 мм достаточно орошены 700 м², то есть 70 % области.

УЧЕБНЫЙ ПРИМЕР · ИЗМЕНЯЙТЕ ЗНАЧЕНИЯ

Одинаковая цель — разное распределение

Зона А · 100 м², слой мм

Зона В · 200 м², слой мм

Зона С · 300 м², слой мм

Зона D · 400 м², слой мм

Средний слой

15 мм

CU_a

73,333 %

DU_{iq}

53,333 %

Площадь достижения цели

70 %

Зоны 100, 200, 300 и 400 м². Цель 15 мм. CU_a и DU_{iq} относятся к учебной карте; при нулевом среднем они не определены.

Попробуйте: увеличьте слой первой зоны до 10 мм. Среднее достигнет 15,5 мм; площадь, достигшая 15 мм, останется 70 %. Поднимите все зоны до 20 мм: CU_a и DU_{iq} станут 100 %, цель будет достигнута на всей площади. Электронный расчёт использует площади учебных зон, показанные в работе 4.

6.4. Полевая проверка

Полевая выборка дождемеров и расчётная карта имеют разные способы получения данных. Российскую проверку самоходной дождевальная машины строят по применимой редакции ГОСТ Р 58331.2-2019 и утверждённой программе испытаний. Для круговой машины стандарт использует модифицированный коэффициент Хеермана—Хейна, для поступательной — коэффициент Христиансена; отдельно оценивает эффективно, недостаточно и избыточно политую площадь, расход, слой за проход, испарение и снос ветром.

До опыта фиксируют схему и шаг дождемеров, режим и комплектацию машины, давление и расход, число проходов или оборотов, ветер, температуру, влажность, время и средства измерения. СТО АИСТ 11.1-2010 можно использовать как

методическое дополнение для условий испытаний, обработки и рабочих ведомостей, включая объём воды в дождемерах и норму до стока. Статус и применимость каждого документа проверяют для конкретной работы. ANSI/ASAE S436.2 служит дополнительным международным источником для сопоставления методов. Российский протокол строят по применимой отечественной нормативной базе и утверждённой программе испытаний.

Учебные CU_a и DU_q из раздела 6.2 относятся к дискретной карте с весами площади. Они полезны для разбора данных, но не объявляются коэффициентами ГОСТ или протоколом соответствия.

- 1 Зафиксируйте процедуру и условия. Проверьте единицы и идентификацию дождемеров.
- 2 Соберите выборку и отметьте потерянные, повреждённые и сомнительные наблюдения.
- 3 Рассчитайте показатели по принятому методу, приложите исходную схему и оцените отличие от модели.

Результат: отчёт показывает, где и при каких условиях распределение действительно наблюдалось. Более мелкая сетка сама по себе не повышает точность исходной выборки.

7. Проследить воду в почве

7.1. Сначала замкните поверхность

За один расчётный шаг обозначим S_0 и S_1 — поверхностный запас в начале и конце; P — дождь; W — вода полива на поверхности; R_{in} и R_{out} — боковой поверхностный приток и сток; F — суммарная инфильтрация; E_s — испарение поверхностного запаса. Все величины — слои в мм на одной площади за один интервал.

Баланс (8): $S_1 - S_0 = P + W + R_{in} - F - R_{out} - E_s$.

Для обмена между разными ячейками поток сначала переводят в m^3 . Один и тот же перенос является выходом первой и входом второй ячейки. Разный размер ячеек даёт разный эквивалентный слой при одном объёме.

Один поток между поверхностью и корнями

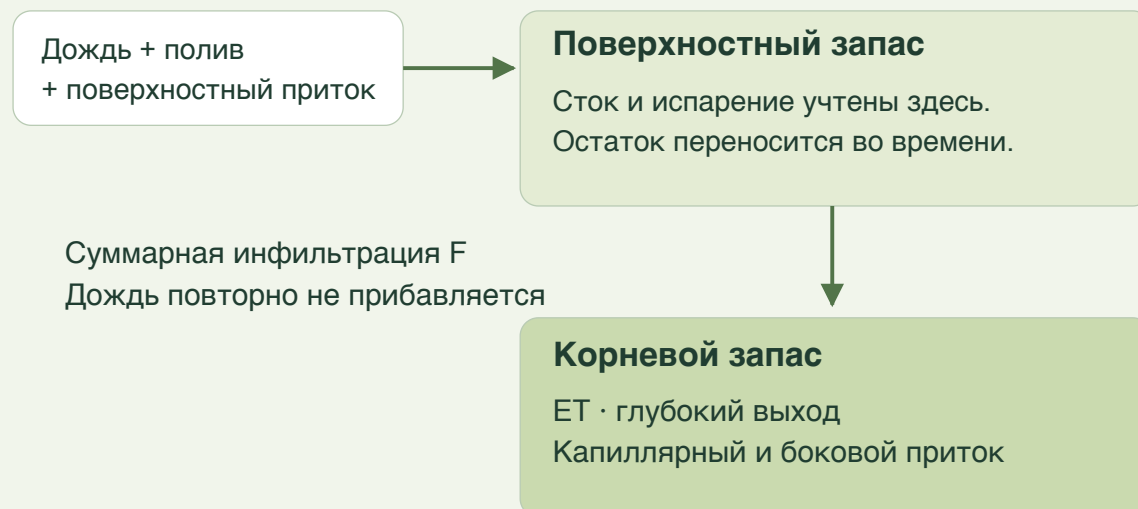


Рисунок D17.7 — В принятой учебной схеме дождь и полив входят на поверхность; в корневую зону передаётся их суммарная инфильтрация. Повторное добавление дождя ниже исключено.

7.2. Инфильтрация: модель и начальные условия

Инфильтрационная способность ограничивает скорость поступления воды в почву. Фактическая инфильтрация также ограничена имеющейся водой. После прекращения дождя поверхностный запас может продолжать впитываться.

Упрощённая форма Грина–Ампта задаёт способность $f = K_s[1 + \Psi\Delta\theta/F_{\text{нак}}]$ при $F_{\text{нак}} > 0$. Здесь f и K_s — мм/ч, Ψ и $F_{\text{нак}}$ — мм, $\Delta\theta$ — разность объёмных долей влажности. Нужны начальная влажность, параметры слоя, момент образования поверхностного запаса и способ старта при нулевой накопленной инфильтрации. Начальное деление на ноль не исправляют произвольной малой величиной без обоснования метода. В форме Хортонa $f(t) = f_{\infty} + (f_0 - f_{\infty})\exp(-kt)$ задают начало отсчёта и восстановление между событиями; f_0 и f_{∞} выражают в мм/ч, t — в часах, k — в 1/ч. Материалы ЕРА описывают эти семейства моделей; выбор параметров для поля требует измерений.

Работа 5 использует более простую **учебную модель ограниченного запаса**. За шаг сначала складывают S_0 и поступивший слой U . Инфильтрируется $\min(S_0 + U, c\Delta t)$; затем остаток сверх S_{max} уходит в сток, а остальное становится S_1 . Ёмкость c здесь постоянна внутри задания. Это дискретная иллюстрация баланса, чувствительная к порядку операций и шагу; она не выдаётся за реализацию Грина–Ампта или прогноз реального стока.

7.3. Дождь учитывается один раз

Пусть исходное истощение запаса равно 20 мм; 5 мм дождя полностью проникли в почву; другие потоки отсутствуют. Конечное истощение — 15 мм. Если эти 5 мм уже вошли в суммарную инфильтрацию, добавление дождя в корневом балансе повторно даст ошибочные 10 мм.

Дождь и полив: один приход воды

Начальное истощение, мм

Инфильтрация дождя, мм

Инфильтрация полива, мм

Заданный ЕТ, мм

Конечное истощение

15 мм

Доступный запас

75 мм

Выход ниже корней

0 мм

Недопокрытая потребность

0 мм

Учебный резервуар 90 мм. Входы уже инфильтрированы; приход перед ЕТ, избыток уходит вниз. Дождь учитывается один раз.

Электронный пример использует один шаг однородного корневого резервуара. Дождь и полив в этом примере заданы уже проникшими в почву; поверхностный сток отсутствует. Приход идёт перед расходом ЕТ. Избыток сверх вместимости уходит вниз. Если воды недостаточно для заданного ЕТ, фактический отбор ограничивается запасом, а недопокрытая потребность показывается отдельно.

7.4. Записать водный баланс отраслевыми величинами

Планирование режима начинают с водного баланса расчётного корнеобитаемого слоя. В развёрнутой записи закон сохранения имеет вид:

$$W_k - W_n = (P + M_g + M_p + M_v + \lambda) - (E_{ис} + E_{тр} + N_g + N_p + N_v),$$

где W_n и W_k — запасы влаги в начале и конце периода; P — осадки, достигшие поверхности; M_g , M_p и M_v — приток из грунтовых вод, поверхностный и внутрипочвенный притоки; λ — конденсационный приход; $E_{ис}$ и $E_{тр}$ — испарение из почвы и транспирация; N_g , N_p и N_v — оттоки в грунтовые воды, по поверхности и внутри почвы. Все слагаемые приводят к одному слою, площади и периоду. Знак следует из выбранного направления потоков; невязку показывают отдельной строкой. Поливом обозначают поданный объём с указанным измерительным или расчётным основанием.

Поливная норма восполняет выбранную часть дефицита за один полив. Для однородного слоя её верхнюю почвенную границу можно проверить как $d = 1000(\theta_{НВ} - \theta_{до})H$, где d — мм; $\theta_{НВ}$ и $\theta_{до}$ — объёмная влажность при наименьшей влагоёмкости и перед поливом; H — расчётная глубина промачивания, м. При массовой влажности используют плотность почвы и не смешивают проценты массы с объёмной долей. Расчётную глубину меняют по культуре и фазе развития корней. Полученную величину дополнительно ограничивают впитыванием, интенсивностью дождя, уклоном, стоком и эрозионно допустимой нормой.

Поливная норма по дефициту влаги в слое

Влажность при НВ, % объёма

30

Влажность перед поливом, % объёма

22

Глубина слоя, м

0,6

Расчётный слой

48 мм

Поливная норма

480 м³/га

Объёмная влажность и глубина однородного расчётного слоя дают верхнюю почвенную границу нормы. Впитывание, сток и эрозионное ограничение проверяют отдельно.

Попробуйте: уменьшите влажность перед поливом или увеличьте расчётную глубину. Норма возрастёт, но калькулятор намеренно не объявляет её допустимой для поля без проверок впитывания и стока.

Оросительная норма суммирует сезонную подачу на единицу площади нетто. Она связана с сезонным дефицитом водного баланса и техническими потерями, но не равна одной поливной норме. Нормы и сроки вместе образуют режим орошения; каждое изменение должно попадать в график поливов и водоподачи главы 5.

7.5. Доступный запас и потребность

Для однородной корневой зоны учебная модель использует $TAW = 1000(\theta_{FC} - \theta_{WP})Z_r$, $RAW = pTAW$. Здесь θ — объёмная влажность, Z_r — глубина корней в м, TAW и RAW — мм, $0 < p < 1$. Истощение Dr отсчитывается от полевой влагоёмкости. Эти обозначения взяты из FAO-56, глава 8 и нужны для международного сопоставления модели; они не заменяют российские термины и нормативный расчёт режима. В формуле FAO дождь и инфильтровавшийся полив заданы отдельно. При передаче суммарного потока F через нашу границу дождь повторно не добавляется.

В учебном профиле $\theta_{FC} = 0,30$, $\theta_{WP} = 0,15$, $Z_r = 0,6$ м, $p = 0,5$: $TAW = 90$ мм, $RAW = 45$ мм. При $Dr = 60$ мм линейная оценка $K_s = (TAW - Dr)/(TAW - RAW)$ даёт 2/3; при $Dr \leq RAW$ принимается 1. Значения p и глубины в примере не назначают норму конкретной культуре.

ET_0 обозначает эвапотранспирацию эталонной поверхности; ET_c — потребность культуры в принятой модели. Метод получения ET_0 , коэффициенты культуры, климатическая зона, период наблюдений и даты сохраняют отдельно. Для российского проектного расчёта используют фактические многолетние данные либо обоснованные региональные зависимости в применимой редакции норм. Метод FAO Пенмана–Монтейта допускается как дополнительная расчётная модель после проверки на местных данных; перенос результата без такой проверки не является назначением нормы. В работе 6 значения ET заданы как входы, поэтому вычисление погоды и коэффициентов не скрыто внутри задания.

7.6. Баланс корневого резервуара

Пусть W_0 — доступный запас, C — капиллярный приток, B — чистый боковой приток, DP — выход ниже корней. Общая форма **(9)**: $W_1 - W_0 = F + C + B - ET - DP$.

Испарение, уже вычитенное на поверхности, исключают из повторного расхода. Для слоистой модели каждый межслойный поток связывает конкретные границы и временной шаг.

В работе 6 приход за шаг прибавляется к W_0 ; избыток выше TAW записывается в DP ; фактический ET ограничивается оставшимся запасом. Недостаток относительно заданного ET отражается отдельной величиной. Такое правило сохраняет баланс и показывает ограничения учебного резервуара. Оно не рассчитывает движение фронта влаги и длительность переувлажнения.

Проверьте себя: после сильного дождя отчёт должен показывать, куда ушёл избыток. Простое ограничение запаса значением TAW без записи DP теряет воду в балансе.

8. Принять решение и проверить выполнение

8.1. От цели к заданию

Цель указывает участок, срок и требуемый результат: например, восполнить согласованный дефицит при допустимом избытке и ограничении водозабора. План связывает цель с поливной нормой, сроком, окном времени, составом машины и ограничениями; сезонную оросительную норму ведут отдельно. Прогноз погоды сохраняется той редакцией, которая была доступна при выборе плана.

Перед выполнением проверяют паспорт, расчёт режима, технологические ограничения и полномочия оператора. Правила безопасного управления и работы на площадке берут из эксплуатационных документов. Изменение нормы после начала прохода создаёт новый сегмент задания и отдельно фиксируется в истории.

Пять этапов проверки выполнения

1. План	Цель, окно времени и ограничения
2. Расчёт	Паспорт, сценарий и режим
3. Команда	Запрос и результат его обработки
4. Состояние	Наблюдаемое движение и вода
5. Итог	Объём, полнота и отклонение

Рисунок D17.8 — Каждое подтверждение относится к своему этапу. Сообщение о доставке команды описывает связь; выполнение устанавливается результатом обработки и наблюдением объекта.

8.2. Рабочий маршрут панели

- 1 Откройте D05 Pivot и проверьте подключение панели к диспетчеру, паспорт и источники показаний.
- 2 Используйте D06 Pivot для начала смены, сухого движения, полива и остановки в пределах принятой конфигурации.
- 3 Сопоставьте запрошенный режим с наблюдаемыми движением, водой и событиями. Сохраните время, параметры и отклонения.

Результат: один проход связан с версией сценария и журналом. Снимок экрана и сохранённый черновик рассматриваются как сведения об интерфейсе.

В документированной проверке Pivot 0.8.2 редактор сектора и барьеров сохранял локальный черновик до перезагрузки страницы. Автоматическое исполнение и остановка на границе этим проходом не приняты. Для актуального объекта проверяют приложение Г и его эксплуатационные документы; на непринятую границу нельзя возлагать функцию безопасной остановки.

8.3. План и фактические данные

Для сравнения выбирают одинаковые временные и пространственные границы. Входной план сравнивают с входным объёмом, поверхностный слой — с результатом соответствующей модели или измерений. Отличие объясняют наблюдениями: длительностью, расходом, остановками, изменением состава или неполнотой ряда.

В итоговой работе плановый расход 50 л/с на 600 с даёт 30 м³. По пяти двуминутным интервалам известны расходы 50, 50, неизвестно, 40 и 0 л/с: наблюдаемый объём — 16,8 м³. Неизвестные две минуты сохраняются отдельно. При специально заданной для этого примера границе 0–60 л/с общий входной объём лежит между 16,8 и 24 м³. Этот интервал возможных значений получен из допущения. Измеренную точность устанавливают по характеристикам средств и метода измерения.

Расчёт по нижней границе даёт отличие от плана –13,2 м³; по верхней — –6 м³. Отчёт сообщает диапазон и основание. Значение 16,8 м³ само по себе описывает только покрытую наблюдениями часть.

8.4. После прохода

Проверьте конечное состояние, полноту журнала и соответствие времени. Отдельно укажите события, которые требуют восстановления данных или обследования оборудования. Сохраните исходную выгрузку, настройки обработки и расчётный отчёт.

При изменении данных повторный расчёт получает новую версию. Читатель должен видеть, какой результат использовался при принятии решения и какой получен после уточнения. Корректировка истории не меняет прошлое действие машины.

9. Объяснить достоверность результата

9.1. Четыре причины ограниченного вывода

Погрешность измерения связана с прибором, установкой и методом. **Неполнота** означает отсутствие части времени или площади. **Неопределённость модели** относится к приближённому описанию процесса. **Неверное происхождение** возникает, когда расчёт, прогноз или команда подписаны как наблюдаемый факт.

Для каждой причины нужен собственный ответ. Дополнительные измерения сокращают пропуск, но не исправляют неверную единицу. Мелкая сетка детализирует изображение, сохраняя ограничения исходных данных. Повторяемость программы доказывает одинаковый результат на одинаковом входе; соответствие полю проверяют независимо.

Сохраните основания результата

1 Исходные данные

Файлы · единицы · время · SHA-256

2 Метод

Формулы · параметры · версия

3 Качество

Погрешности · пропуски · допущения

4 Повторный расчёт

Совпадение чисел и проверка баланса

Уточнение данных создаёт новую редакцию результата.
Прежний отчёт сохраняет своё основание.

Рисунок D17.9 — Отчёт хранит источник числа и предел его применимости вместе с самим числом.

9.2. Числовая оценка

Для результата $y = f(x_1, \dots, x_n)$ линейное распространение неопределённости **(10)** имеет вид $u^2(y) \approx \sum [(\partial f / \partial x_i)^2 u^2(x_i)] + 2 \sum_{i < j} [(\partial f / \partial x_i)(\partial f / \partial x_j) \text{cov}(x_i, x_j)]$. Указывают точку линеаризации и предпосылки. Коррелированные вклады сохраняют через ковариацию; одна и та же калибровочная ошибка не становится независимой при повторном измерении.

Для учебного произведения расхода и времени заданы **стандартные относительные неопределённости** 2 % и 0,5 %, независимые между собой. Корень из суммы квадратов равен 2,06155... %. При $V = 180 \text{ м}^3$ стандартная неопределённость составляет 3,7108... м^3 . Для условного коэффициента охвата $k = 2$ получают 7,4216... м^3 . Связь k с вероятностью охвата требует распределения и условий оценки; знак «±» без этих сведений неполон.

Если для двух входов в том же примере задать коэффициент корреляции 0,8, результат изменится до 2,41868... %, или 4,3536... м^3 . Работа 7 показывает оба варианта и отделяет их от отсутствующих наблюдений. Методические основания оценки описаны в NIST Technical Note 1297.

9.3. Изображение как наблюдение

Для снимка сохраняют исходный файл, время, установку камеры, калибровку и географический след. Геометрическое преобразование учитывает внутренние параметры, искажения объектива, положение центра камеры, ориентацию и модель поверхности. Ошибка времени у движущейся камеры превращается в ошибку положения.

Площадь наблюденной части ячейки делят на её действующую площадь. Перекрытие кадров считается один раз. Производный показатель должен возвращаться к исходным пикселям, версии обработки и условиям съёмки. Видимый цвет или индекс изображения связывают с целевой агрономической величиной только после проверки на независимых данных.

Индивидуальная оценка растений, карта корневого запаса и прогноз урожайности рассматриваются здесь как исследовательские методы. Для них задают измеряемую величину, масштаб, выборку проверки и допустимый вывод. Подсчёт растений с низкой достоверностью передаёт эту неопределённость в расчёт литров на растение.

9.4. Минимальный воспроизводимый отчёт

- 1 Сохраните исходные файлы, их контрольные суммы и время получения. Выделите прогнозы, наблюдения и исправления.
- 2 Укажите метод, версию параметров, единицы, порядок обработки пропусков и ограничения.
- 3 Приложите результат, контроль баланса и объяснение неопределённости. Повторите расчёт из сохранённого набора.

Результат: другой участник получает совпадающие числовые выходы и видит, какие из выводов требуют полевой проверки. Неизвестное значение сохраняется как неизвестное с причиной, включая нулевую площадь, нулевой средний слой и неподтверждённое число растений.

10. Практикум и полевое исследование

10.1. Подготовить занятие

Откройте веб-практикум D17. На странице доступны условия восьми работ, исходные таблицы и JSON, разобранные ответы и формы отчёта. CSV представлены как таблицы: запятая разделяет поля, точка отделяет дробную часть. Пустое значение в наблюдениях означает отсутствие данных; 0 — зарегистрированный нулевой расход.

Для занятия используйте условия, формулы и разобранные ответы этой главы. Десять интерактивных примеров в главах 1, 5, 6 и 7 работают прямо в книге; установка программ для них не требуется. Веб-практикум показывает точное содержимое учебных CSV и JSON. Внутренняя программная проверка исходного комплекта предназначена сопровождающему изданию и не входит в действия учащегося.

Для каждого задания сдаётся короткий отчёт: входы и единицы, вычисление, результат, проверка и граница вывода. Числовые допуски заданы в ответах. Ошибочные примеры разбираются отдельно, чтобы случайно не использовать их как правильный вход следующей работы.

10.2. Работа 1 — единицы и границы

Цель: получить объём и эквивалентный слой, правильно назвать результат. Вход — `lab-01/input.csv`.

- 1 Рассчитайте объём для 50 л/с за 3600 с и слой на 1 га.
- 2 Найдите требуемый расход для 10 га, 10 мм, 10 ч при $\eta = 0,8$.
- 3 Объясните назначение η и причину неприменимости коэффициента 27154 к этим метрическим входам.

Ответ: 180 м³; 18 мм по входному объёму; 34,722222... л/с; 1000 м³ чистого и 1250 м³ входного плана. **Зачёт:** вместе с числами названа физическая граница и сохранены единицы.

10.3. Работа 2 — режим Pivot

Цель: воспроизвести два точных вектора r1. Вход — `lab-02/vectors.json`; описание формул — глава 5 и файл `lab-02/profile.json`.

- 1 Преобразуйте привычные единицы в единицы контракта и проверьте исходные целые числа.
- 2 Рассчитайте полный круг и сектор 90° с единственным округлением каждого результата.
- 3 Сопоставьте все выходы с векторами; объясните одинаковый требуемый таймер и глубину.

Ответ: площадь 516277/129069 м²; время выбранного прохода 84134/21034 с; требуемый таймер 341658 rpm; глубина 8136 мкм. **Зачёт:** совпадают все двенадцать выходов обоих векторов, различены выбранный и требуемый таймер.

10.4. Работа 3 — телеметрия прохода

Цель: обработать неполный ряд без выдуманного объёма. Вход — `lab-03/telemetry.csv`.

- 1 Суммируйте известные кусочно-постоянные расходы по семи минутным интервалам.
- 2 Найдите переход через 0°, остановку с водой, неизвестные углы и сброс счётчика.
- 3 Сохраните известный объём, непокрытое время и отдельно прирост новой эпохи счётчика.

Ответ: 21 м³; 60 с без расхода; первый короткий переход +10°; остановка с водой — пятый интервал; последний прирост счётчика 3 м³. **Зачёт:** неизвестный интервал не превращён в нулевой, число полных оборотов не угадано.

10.5. Работа 4 — распределение воды

Цель: сравнить равномерность и достаточность. Вход — `lab-04/zones.csv`, цель 15 мм.

- 1 Рассчитайте общий объём и средний слой с весами площади.
- 2 Получите CU_a , нижнюю четверть площади и DU_{iq} .
- 3 Определите площадь достижения цели и объясните ошибку выбора одной записи как «четверти».

Ответ: 15 м³; 15 мм; $CU_a = 73,333333... \%$; среднее нижней четверти 8 мм; $DU_{iq} = 53,333333... \%$; достаточность 70 %. **Зачёт:** во второй зоне использованы 150 м², а геометрические показатели названы учебными показателями карты.

10.6. Работа 5 — инфильтрация и сток

Цель: замкнуть поверхностный баланс для двух учебных профилей. Входы — lab-05/rain.csv и lab-05/profiles.json. Поступление за час: 12, 0 и 3 мм; $S_{max} = 3$ мм, исходный запас 0. Постоянные способности — 4 и 8 мм/ч.

- 1 На каждом шаге выполните правило главы 7: поступление, инфильтрация, сток и остаток.
- 2 Проверьте продолжение инфильтрации во второй час без дождя.
- 3 Сравните итог и вычислите невязку по суммарному приходу 15 мм.

Ответ: для 4 мм/ч инфильтрация 10 мм, сток 5 мм; для 8 мм/ч — 14 и 1 мм. Конечный запас и невязка в обоих случаях нулевые. **Зачёт:** поверхностная вода второго часа учтена; явно названо упрощение модели.

10.7. Работа 6 — корневая зона

Цель: рассчитать запас, истощение и выход ниже корней. Входы — lab-06/profile.json и lab-06/weather.csv. TAW = 90 мм, RAW = 45 мм, исходное истощение 20 мм.

- 1 Для каждого дня внесите дождь и полив один раз; примените порядок прихода и расхода главы 7.
- 2 Вычислите запас, истощение, глубокий выход и невязку.
- 3 Отдельно разберите дождевой тест 20 → 15 мм и оценку K_s при $Dr = 60$ мм.

Ответ: конечное истощение после четырёх шагов — 2 мм; суммарный выход ниже корней — 37 мм; невязка 0; $K_s = 2/3$. **Зачёт:** избыток сохранён отдельным потоком, θ имеет объёмную единицу, дождь учтён единожды.

10.8. Работа 7 — неопределённость

Цель: отделить стандартную неопределённость от неполноты. Вход — lab-07/input.json: $V = 180$ м³, относительные стандартные вклады 0,02 и 0,005.

- 1 Рассчитайте результат для независимых входов.
- 2 Повторите с коэффициентом корреляции 0,8 и сравните.
- 3 Укажите, почему пропуск из работы 3 нельзя закрыть полученным знаком «±».

Ответ: $u(V) \approx 3,7108 \text{ м}^3$; для коррелированных входов $\approx 4,3536 \text{ м}^3$. При условном $k = 2$ расширенная оценка первого случая $\approx 7,4216 \text{ м}^3$. **Зачёт:** определены тип неопределённости, предпосылки и смысл коэффициента охвата.

10.9. Работа 8 — итоговый разбор

Цель: подготовить объяснимое сравнение плана и прохода. Входы — `lab-08/plan.json` и `lab-08/observations.csv`; форма — `forms/report.md`.

- 1 Рассчитайте плановый и известный входной объём; выделите пропуск.
- 2 По заданной границе 0–60 л/с оцените диапазон общего объёма.
- 3 Подготовьте отчёт: цель, входы, метод, результат, отклонение, ограничения и требуемое дополнительное наблюдение.

Ответ: план 30 м^3 ; известно $16,8 \text{ м}^3$; пропуск 120 с; общий диапазон $16,8\text{--}24 \text{ м}^3$.

Зачёт: диапазон подписан как следствие допущения, поверхностный слой и обеспеченность корней не объявлены установленными.

10.10. Для преподавателя и полевого пилота

Оценивать работу удобно по четырём равным частям: корректные входы; вычисление; контроль баланса и версии; объяснение предела вывода. Число без единицы и источника возвращается на исправление. Полный ответ включает исходную таблицу и воспроизводимое вычисление.

Для полевого продолжения кафедра и площадка определяют ответственных, процедуру измерений, доступное оборудование, разрешённое использование данных и форму замечаний. Измерительная выборка должна позволять проверить конкретный вывод: расход, распределение, почвенный запас или качество пространственной модели. Внешняя предметная рецензия и участие университетов указываются по фактически выполненным работам.

Открытый практикум работает в браузере по постоянному веб-адресу. Период, функции и поддержка программного стенда согласуются отдельно; семестровая лицензия сервиса оформляется отдельным соглашением.

Приложение А. Паспорта 27 сущностей

Паспорта задают состав учебного обследования и исследовательской модели. Обязательность поля определяется результатом: входной объём требует расхода и времени; карта у корней — также пространства, почвы, культуры и потоков. Идентификаторы ниже служат указателем книги. Имена полей производственного обмена задаются соответствующими контрактами, включая точные поля `r1` из главы 3.

Общие реквизиты: устойчивый ID, версия, начало и конец действия, источник, ответственный за сведения и причина изменения. Для величины указывают единицу, способ получения и качество. Ссылка из результата ведёт на конкретную версию.

Неизвестное значение хранится с причиной; оно отличается от измеренного нуля.

A01. Площадка

Назначение: объединяет поля, машины и общие источники данных в организационной области. **Состав:** код, название, часовой пояс, основная координатная система, ответственный, связанные поля и метеостанции. **Проверка:** код сохраняется при переименовании; координатная основа имеет версию; время события сопоставимо с UTC. **Пример:** два поля используют одну метеостанцию, но имеют собственные почвы и планы. Изменение названия площадки не создаёт новые измерения.

A02. Поле

Назначение: сохраняет идентичность сельскохозяйственного поля при уточнении геометрии. **Состав:** код, площадка, действующая версия границы, сезоны, машины и история разделения/объединения. **Проверка:** площадь берётся из указанной геометрии; одновременно действующая основная граница однозначна. **Пример:** уточнение края на 0,3 га меняет геометрию и производные площади; прежний отчёт остаётся связан с прежней версией.

A03. Версия границы поля

Назначение: определяет рабочую область и исключения. **Состав:** внешние кольца, отверстия, система координат, метод и точность съёмки, площадь в м², период действия. **Проверка:** геометрия корректна; пересекающиеся исключения вычитаются по объединению; площадь пересчитывается из той же версии. **Результат:** ограниченная область расчёта. Дорога за пределами полива сохраняется как исключение с основанием.

A04. Сетка и ячейка

Назначение: задаёт пространственную единицу распределения и баланса. **Состав:** версия границы, тип и шаг сетки, ID ячейки, геометрия пересечения, площадь в м², связи с почвой и посевом. **Проверка:** внутренности ячеек не перекрываются; их объединение покрывает заданную область с оговорённым допуском. **Результат:** слой и покрытие с точным весом площади. Полярный сектор использует угол в радианах в формуле $\frac{1}{2}(b^2 - a^2)\Delta\phi$.

A05. Сезон и культура

Назначение: связывает поле с периодом выращивания и потребностью культуры. **Состав:** культура, сорт, даты, шкала фаз, наблюдения фаз, версии коэффициентов, источник агрономических решений, нормы и сроки поливов. **Проверка:** календарная оценка фазы отличается от наблюдения; смешанный посев делится на явно заданные зоны; поливная норма не подменяется сезонной оросительной нормой. **Результат:** параметры потребности и редакция режима орошения на дату. Новый коэффициент не подставляется в прошлый прогноз без новой редакции расчёта.

A06. Посев и профиль корней

Назначение: описывает площадь культуры, густоту и активную глубину по фазам.

Состав: геометрия посева, метод подсчёта растений, густота, Z_r в м, доли корней по слоям и качество оценки. **Проверка:** нормированные доли суммируются к единице; активная глубина обеспечена описанием почвы; число растений положительно для расчёта на растение. **Граница:** литры доступного запаса на растение являются пространственной оценкой, а поглощение требует модели и наблюдений.

A07. Почвенная зона и слой

Назначение: задаёт водно-физические условия. **Состав:** геометрия зоны, верх/низ слоя в м, объёмная влажность, θ_{FC} , θ_{WP} , гидравлические параметры, плотность при необходимости пересчёта массовой влажности, метод проб и время. **Проверка:** слои согласованы по глубине; $\theta_{FC} > \theta_{WP}$; единица влажности явна. **Результат:** запас и параметры инфильтрации. Неисследованный глубокий слой не достраивается по поверхностной пробе без обозначенного предположения.

A08. Машина

Назначение: задаёт вид, геометрию и движение установки. **Состав:** ID, тип, центр, направление угла, радиусы, ограничения движения, связь с полем, версия комплектации и семь полей $r1$ для кругового расчёта. **Проверка:** радиус башни не превышает радиус машины; скорость и расход имеют правильные единицы; пример относится к выбранному типу. **Результат:** расчёт режима. Для фронтальной машины радиальная модель заменяется соответствующим профилем.

A09. Версия комплектации

Назначение: фиксирует установленный состав на период. **Состав:** перечень пролётов, труб, выпусков, сопел, регуляторов, концевых узлов, датчиков и параметры монтажа. **Проверка:** ссылки ведут на действительные версии; интервалы комплектации не создают двусмысленности; замена узла имеет дату. **Результат:** воспроизводимый паспорт. При изменении внутри прохода создаётся граница сегмента, и объёмы связываются со своим составом.

A10. Пролёт и башня

Назначение: описывает геометрию несущего участка и движение. **Состав:** порядковый номер, длина и радиальная привязка, высотные отметки, башня, привод, скорость и связанные секции. **Проверка:** порядок и длины согласованы с паспортом; положение выпуска привязано к реальной схеме. **Результат:** траектория и исходные данные гидравлики. Скорость последней башни в $r1$ — параметр конкретного режима, а отклонение фактического движения наблюдается отдельно.

A11. Трубная секция

Назначение: задаёт участок расчёта потерь и ответвлений. **Состав:** начальный/конечный узлы, длина, внутренний диаметр, материал, шероховатость, высоты, местные сопротивления и направления потока. **Проверка:** единицы совместимы с

выбранной формулой; расход изменяется после отборов; насос между сечениями учитывается отдельным напором. **Результат:** модель давления. Значение модели подписывается отдельно от показания датчика.

A12. Выпуск

Назначение: связывает отбор из трубы с аппаратом и положением. **Состав:** радиус, высота, сторона, интервал обслуживания, аппарат, регулятор, клапан и состояние.

Проверка: выпуск единожды входит в баланс; отключённый выпуск получает соответствующее состояние; фактический расход имеет источник. **Результат:** объём выпуска за сегмент. Правило распределения пропорционально радиусу допустимо лишь как явно обозначенное приближение.

A13. Дождевальный аппарат

Назначение: связывает сопло, давление и след распыла. **Состав:** изготовитель/модель, сопло, пластина, высота, рабочие диапазоны, кривая расхода, версия каталога, состояние и проверка износа. **Проверка:** сочетание деталей допустимо; экстраполяция за каталог отмечается; объём считается по действовавшей характеристике. **Результат:** расчётный расход и распределение. Сторонний каталог используется по его условиям; полевое распределение проверяется отдельно.

A14. Регулятор давления

Назначение: описывает поддержание давления в рабочем диапазоне. **Состав:** изготовитель, семейство, модель и точный артикул, уставка с единицей, допустимый диапазон расхода, максимальное входное давление, минимальный запас входного давления над уставкой, присоединения, направление установки, версия заводского каталога, связь с выпуском и результаты проверки. **Проверка:** рассчитанное или измеренное входное давление и расход позволяют работу по характеристике; давление после регулятора совместимо с дождевателем и соплом; сумма расходов согласована с картой сопел; замена создаёт новую версию комплектации.

Результат: условие применимости кривой аппарата и объяснимый статус по каждому выпуску. Уставка на корпусе задаёт номинальный режим; фактическое давление при текущем расходе устанавливается измерением.

Недостаточный напор перед исправным регулятором нельзя автоматически исправить его заменой: регулятор только снижает и стабилизирует давление, но не повышает его. Сначала проверяют источник давления, потери, фильтр, утечки и качество измерения. Замену рекомендуют, когда при достаточном входе неверны уставка или диапазон расхода, либо когда модель с меньшей уставкой доказанно сохраняет требуемые характеристики совместимого дождевателя и сопла. Рекомендация сохраняется как задача с исходными величинами, затронутыми выпусками и ссылками на версии паспорта и каталога; сама конфигурация без проверки не изменяется.

A15. Концевой аппарат и управляемая секция

Назначение: объединяет дополнительные зоны и группы выпусков. **Состав:** члены группы, дальность, расход, бустер, разрешённые углы, команда, наблюдаемое состояние и источник подтверждения. **Проверка:** дополнительный расход учитывается один раз; выключенный узел не увеличивает эффективный радиус

данного сценария; команда связана с состоянием по времени. **Результат:** поправка режима и сегмента. Геометрическое расширение круга отдельно проверяется по распределению.

A16. Измерительная станция

Назначение: задаёт физическое место наблюдения. **Состав:** роль, координаты, высота, положение относительно ответвлений и насоса, тип давления, установленные каналы. **Проверка:** точка отбора однозначна; измерения разных высот приводятся к одной энергетической схеме; комплект каналов известен.

Результат: сопоставимые Q/P/T и другие величины. Наличие станций на входе и хвосте устанавливают обследованием конкретной машины.

A17. Датчик и калибровка

Назначение: связывает сырой сигнал с физической величиной. **Состав:** серийный номер, установка, диапазон, единица, преобразование, калибровка с датой действия, неопределённость и частота. **Проверка:** калибровка применима на момент события; исходный сигнал сохраняется; общие ошибки не учитываются как независимые. **Результат:** исправленное измерение с качеством. Просрочка или выход за диапазон отражаются в статусе и допустимости использования.

A18. Погода

Назначение: описывает условия распыла и входы потребности. **Состав:** источник, координаты, высота датчиков, интервал, дождь, ветер, температура, влажность, радиация, тип «наблюдение/прогноз» и версия поставщика. **Проверка:** единицы и период накопления осадков известны; пространственный перенос имеет метод; прогноз сохраняет время выпуска. **Результат:** вход выбранной модели. Пропуск и восстановленное значение получают разные обозначения качества.

A19. План полива

Назначение: связывает режим орошения с будущим действием. **Состав:** поле/сезон, культура, поливная норма и срок, зона, целевой диапазон, допустимый избыток, окно, паспорт, сценарий, прогноз и ограничения; для группового графика — доля площади, гидромодуль и одновременно работающие машины. **Проверка:** тип нормы и единица названы; цель относится к названной границе воды; расчёт достижимости и сезонной нагрузки выполнен; изменение создаёт новую версию. **Результат:** задание для согласованной конфигурации и вход графика водоподачи. Факт исполнения связывается отдельными записями прохода и наблюдений.

A20. Полив, проход и сегмент

Назначение: описывает фактический сеанс и интервалы однородного режима. **Состав:** ID плана, времена, направление, развёрнутый угол, состояние воды, состав, расход и причины разбиения. **Проверка:** интервалы последовательны; смена режима или комплектации создаёт границу; пропуски угла не заполняют угаданными оборотами. **Результат:** вклад в объём и распределение. Остановка с водой остаётся самостоятельным сегментом.

A21. Измерение

Назначение: хранит наблюдаемую величину независимо от способа доставки.

Состав: объект/канал, время события и приёма, интервал, сырое и исправленное значение, единица, установка, калибровка, качество и причина исправления.

Проверка: время события сохраняется; повтор сообщения не удваивает физический вклад; замещение имеет отдельный метод. **Результат:** вход расчёта с происхождением. Пустое значение не означает нулевой поток.

A22. Вода на поверхности ячейки

Назначение: сохраняет результат пространственного распределения. **Состав:**

ячейка, сегменты и выпуски, объём в м³, слой в мм, площадь покрытия, версия следа распыла, потери и доля за границей. **Проверка:** суммы объёмов замкнуты; площадь точна; перекрытия не удваивают покрытие. **Результат:** вход поверхностного баланса. При нулевой площади результат слоя получает состояние «нет площади для расчёта»; запись сохраняет причину без числового значения.

A23. Инфильтрация и поверхностный баланс

Назначение: отделяет впитывание, временный запас и сток. **Состав:** исходный запас, дождь, полив, боковые переносы, испарение, суммарная инфильтрация, шаг, модель и параметры. **Проверка:** баланс главы 7 замкнут; вода из запаса может впитываться после дождя; поток между ячейками сохраняет объём. **Результат:** суммарный вход в почву. Передача в корневую модель содержит явное определение источников, исключающее повторный дождь.

A24. Баланс корнеобитаемой зоны

Назначение: прослеживает запас, доступный активным корням. **Состав:** исходная и конечная влажность по слоям, расчётная глубина, профиль корней, осадки, полив, поверхностный и внутрипочвенный притоки/оттоки, подпитывание грунтовыми водами, испарение, транспирация, глубокий выход и версии методов. **Проверка:** начальное состояние имеет источник; приход и расход относятся к одной границе, площади и периоду; превышения сохраняются отдельными потоками. **Результат:** запас, дефицит водного баланса и невязка. Простое ограничение чисел диапазоном не заменяет учёт избытка или недопокрытой потребности.

A25. Обеспеченность культуры

Назначение: сопоставляет доступный запас с целью на площади культуры. **Состав:** состояние корней, целевой диапазон, площадь посева, число растений/густота, масштаб и качество оценки. **Проверка:** знаменатели положительны; веса отражают площадь или объявленный масштаб; цель имеет дату. **Результат:** достаточность и исследовательские показатели равномерности запаса. Они получают собственные обозначения и не заменяют показатели полевого испытания дождевальными машинами.

A26. Снимок и пространственное наблюдение

Назначение: связывает изображение с полем и производным показателем. **Состав:** исходный файл, время, установка, внутренняя калибровка, искажения, ориентация, положение камеры, модель поверхности, след и версия обработки. **Проверка:** файл

неизменён; параметры действуют в момент съёмки; объединение следов считает перекрытие один раз. **Результат:** наблюдаемая область и показатель с качеством. Для агрономического вывода требуется независимая проверочная выборка.

А27. Запуск расчёта и журнал

Назначение: позволяет повторить результат и объяснить его изменение. **Состав:** ID запуска, версии входов, метода и параметров, контрольные суммы, результаты, ошибки, исправления и связи событий. **Проверка:** одни входы и метод воспроизводят детерминированный результат; повторное событие применяется однократно; прежний результат доступен. Для сравнения расчётов сохраняют версию паспорта, метод, исходные значения и полученный результат. Служебные контрольные суммы ведёт система.

Приложение Б. Формулы и единицы

№	Назначение	Входы и обязательная оговорка
1	Объём постоянного расхода	$л/с \times с / 1000 \rightarrow м^3$; расход относится к указанному интервалу
2	Эквивалентный слой	$1000 \times м^3 / м^2 \rightarrow мм$; площадь положительна
3	Объём ряда	Сумма отдельных интервалов; метод интерполяции и пропуски открыты
4	Идеализированный сектор	$\pi R^2 \alpha / 360$; R в м, α в градусах; покрытие поля проверяется отдельно
5	Требуемый расход	га, мм, ч и безразмерная η ; одна физическая граница коэффициента
5а	Гидромодуль культуры	доля площади $\times м^3/га / (86,4 \times сут) \rightarrow л/(с \cdot га)$; одновременные поливы суммируются
5б	Расход по графику	для поверхности — укомплектованный гидромодуль $\times$ площадь; для дождения — сумма одновременно работающих машин
5в	Пиковая нагрузка	расход машины, коэффициенты рабочего времени/погоды/испарения, межполивной период и поливная норма в $м^3/га$

№	Назначение	Входы и обязательная оговорка
5г	Сезонная нагрузка	расход машины, поливной период, доля часов, коэффициент времени, оросительная норма нетто и один способ учёта потерь
5д	Режим круговой машины	путь последней башни / скорость → время; $0,36 \times \text{л/с} \times \text{ч} / \text{га} \rightarrow \text{мм}$; таймер связывает исходный и целевой слой
6	Средний слой	Вес каждой зоны — её действующая площадь
7	Учебный CU_a	Ненулевой средний слой; относится к дискретной карте
8	Поверхностный баланс	Все слои на одной площади и за один интервал; запас переносится между шагами
9	Корневой баланс	Суммарный приход через объявленную границу; избыток и недостаток учтены
10	Неопределённость	Линеаризация и ковариации; тип неопределённости назван

Дополнительно: $1 \text{ га} = 10000 \text{ м}^2$; $1 \text{ м}^3 = 1000 \text{ л}$; $1 \text{ мм на } 1 \text{ м}^2 = 1 \text{ л}$; $1 \text{ мм на } 1 \text{ га} = 10 \text{ м}^3$; $1 \text{ л/с} = 1000 \text{ мл/с}$; $1 \text{ мм} = 1000 \text{ мкм}$. Для влажности различают долю объёма, массовую долю и проценты. Перевод между массовой и объёмной влажностью требует плотности и соответствующих единиц.

Приложение В. Полевые формы

В веб-практикуме доступны четыре формы. Их заполняют по фактическому обследованию, сохраняя пустыми ещё не установленные величины.

- `forms/field-survey.csv` — объект, граница, почва, культура, вода и ограничения; единица, источник и качество для каждого параметра.
- `forms/measurement-log.csv` — канал, точка, время, значение, установка, калибровка и замечание.
- `forms/calibration.csv` — прибор, эталон, пары показаний, условия, поправка и оценка неопределённости.
- `forms/report.md` — цель, набор данных, метод, результат, баланс, ограничения и вывод.

Формы задают структуру записи. Перечень измерений и периодичность для конкретного поля определяет программа обследования. Образец имени файла: `field-01_2026-09-15_flow.csv`; время внутри файла сопровождается часовым поясом.

Приложение Г. Применимость к ПО «Зеленый робот»

Состояние источников зафиксировано 15.09.2026. Книга опирается на D03, D05 Pivot 2.5, D06 Pivot 1.0, D08 и D15 редакции документации

84937548221ac2936e6e9fa0c623247c9caa45d1. Расчётный профиль r1 проверен в репозитории Pivot на редакции af8ef69e1e2341c9c98e3f1dc45a23d654240d88. Учебные векторы сохранены вместе с комплектом.

Документированные снимки относятся к Runtime 0.12.0 и Pivot 0.8.2. Они показывают подключение, паспорт, параметры, операции и диагностику. Секторные и барьерные черновики в этом проходе потерялись после перезагрузки; автоматическое исполнение не принято. Более новая версия исходного кода сама по себе не подтверждает обновление конкретной панели. Текущую установленную конфигурацию проверяют перед практической работой.

Оценка распределения, инфильтрации, корневого запаса и изображений в D17 раскрывает методику и учебные вычисления. Комплект из восьми работ выполняется автономно. Полный действующий университетский стенд и агрономическая автоматика этим изданием не объявляются поставленными функциями.

Условия учебного доступа

Книгу и веб-практикум можно бесплатно читать, печатать и использовать на учебных занятиях с сохранением наименования, редакции, ссылки на источник и условий. Учебные копии и заполненные задания могут передаваться участникам занятий. Публикация переработанного издания, иные условия распространения и использование сторонних материалов согласуются с соответствующим правообладателем. Лицензия CC BY этим выпуском не назначена.

Правообладатель собственных материалов — ООО «АРОССА». Открытый доступ к методическому комплексу не меняет условий программы, облачного сервиса и аппаратной поставки. Их основания раскрыты в D12 и D14, с приоритетом соответствующих соглашений. Семестровый доступ к программному стенду оформляется отдельно по согласованным функциям, срокам и поддержке.

Редакция 1.3 сохраняет предметную рецензию от 21.09.2026 по отраслевой терминологии, водному балансу, гидромодулю, производительности дождевальной техники и российским методам испытаний. Границы расчётов, источников и паспортных изменений изложены прямыми определениями. Числовые задания остаются синтетическими; полевые результаты и университетские партнёрства этой публикацией не заявляются.

Источники и дальнейшее чтение

- 1 Исходный авторский материал «Достоверное орошение. Данные, план и модель данных», 08.09.2026, 113 страниц. Состав: концепция, модель и 27 паспортов. В редакции 1.0 переработаны единицы, границы потоков, переход угла и применимость методов. SHA-256 исходника:

824ca95d7ff945f9567a6417781d950321a34addf6575c71dc37a9d38c3baa73.

- 2 СП 100.13330.2016 «Мелиоративные системы и сооружения», с изменениями № 1 и № 2: режим орошения, водный баланс, оросительные нормы, расходы, графики гидромодуля и поливов. Карточка изменения № 2 Росстандарта.
- 3 ГОСТ Р 58331.3-2019 «Системы и сооружения мелиоративные. Водопотребность для орошения сельскохозяйственных культур. Общие требования»: российская нормативная основа оценки водопотребности и режима орошения.
- 4 ГОСТ Р 58331.2-2019 «Системы и сооружения мелиоративные. Машины самоходные дождевальные. Общие требования»: показатели качества полива и методы их определения.
- 5 СТО АИСТ 11.1-2010 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей»: условия, обработка и формы записей испытаний; перед применением проверяют статус документа.
- 6 Методические материалы предметной рецензии от 21.09.2026: «Гидромодуль», «Определение производительности дождевальной техники», «Расчёт норм и режимов орошения» и ВНИИОЗ «Проектирование и расчёт систем дождевания и капельного орошения сельскохозяйственных культур» (2017). Они использованы для сверки терминологии и инженерных зависимостей; конкретные коэффициенты требуют проектного основания.
- 7 Senninger Irrigation Inc. SENNPAQ II, расчётные листы от 21.07.2026: Kuban A390-59-03 с300, Kuban A390-71-03, Kuban B418-82-04 и Kuban B421-82-04. Используются как внешние контрольные примеры времени прохода, слоя и таймера; допущения производителя и граница независимой проверки раскрыты в § 5.5.
- 8 Senninger Irrigation. I-WOB2: заводская таблица UP3 и условия установки, каталог Pivot Irrigation Products и спецификация PSR2: расходы сопел при заданном давлении, допустимые сочетания и рабочие границы регулятора.
- 9 Nelson Irrigation. 3TN/3NV Nozzle Chart и Universal Flo / Hi-Flo Pressure Regulator Brochure: расходы сопел по давлению, диапазоны расхода и требуемый запас входного давления; табличные результаты относятся к заявленным условиям испытания.
- 10 Komet Irrigation. Pivot Products Catalog и KPT Performance Tables: сопла, давление, расход, диаметр смачивания, условия монтажа и характеристики регуляторов KPR-X.
- 11 Allen R. G., Pereira L. S., Raes D., Smith M. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, 1998: дополнительная международная модель ET_0 и водного баланса; её применение требует проверки на местных данных.
- 12 Ayers R. S., Westcot D. W. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1, 1985: дополнительный международный справочник по качеству воды.
- 13 ANSI/ASAE S436.2, June 2020: дополнительный международный метод полевого испытания распределения; российский протокол строят по применимой отечественной нормативной базе.
- 14 EPA: Infiltration Models: семейства моделей инфильтрации и исходные параметры.

- 15 Taylor B. N., Kuyatt C. E. NIST Technical Note 1297, 1994: оценивание и представление неопределённости измерений.
- 16 Расчётный профиль Pivot r1; публичные учебные входы и ожидаемые выходы представлены в веб-практикуме. Для занятия достаточно открытой публикации.

Термины и сокращения

Обозначение	Значение
Слой воды	Эквивалент объёма на выбранной площади; 1 мм на 1 м ² равен 1 л.
Инфильтрация	Поступление воды с поверхности в почву за указанный интервал.
TAW	Общий доступный запас воды в принятой корневой зоне, мм.
RAW	Часть TAW, допускаемая к истощению до принятого порога стресса, мм.
Dr	Истощение доступного запаса относительно полевой влагоёмкости, мм.
ET ₀	Эвапотранспирация эталонной поверхности по выбранному методу, мм за интервал.
ET _c	Эвапотранспирация культуры по принятой модели, мм за интервал.
CU _a	Взвешенный площадью показатель отклонения слоя учебной карты.
DU _q	Среднее нижней четверти площади, отнесённое к среднему всей области.
ppm	Миллионная доля; для доли таймера 1000000 ppm соответствует 100 %.
Стандартная неопределённость	Оценка неопределённости, выраженная как стандартное отклонение; способ получения указывается отдельно.

Сведения о редакции

Редакция	Применимость и содержание
1.3 · 21.09.2026	Проектная редакция. Профиль GR-FP-1.0. Мелиорация. Достоверное орошение: функции, параметры, процедуры и проверяемые результаты.